

# Pengaruh Amobilisasi Kation $\text{Cu}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ terhadap Kuat Tekan dan Ketahanan Asam pada Geopolimer Abu Layang

Fanny Fryska Tampubolon, Endang Purwanti S., dan Hamzah Fansuri  
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: endang@chem.its.ac.id

**Abstrak**—Penelitian amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  pada geopolimer berbahan baku abu layang PT. IPMOMI telah dilakukan. Berdasarkan hasil kuat tekan (*compressive strength*) maka ditentukan hasil kuat tekan terbaik pada kation  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  untuk uji *leaching* dan karakterisasi XRD. Kuat tekan terbaik dari amobilisasi kedua kation adalah kation  $\text{Pb}^{2+}$  konsentrasi 1000 ppm adalah 12,28 MPa dan kation  $\text{Cu}^{2+}$  konsentrasi 2000 ppm adalah 12,28 MPa. Fasa kristal (*quartz*) pada abu layang berkurang setelah diamobilisasi dengan kation logam  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  karena masih terdapat puncak-puncak pada difraktogram kedua kation. Morfologi SEM-EDX menunjukkan masih adanya gumpalan silika pada kedua kation geopolimer yang belum terpolimerisasi. Amobilisasi kation  $\text{Pb}^{2+}$  lebih baik daripada kation  $\text{Cu}^{2+}$ , yang ditunjukkan dengan hasil *leaching* amobilisasi kation  $\text{Pb}^{2+}$  negatif karena ukuran ion  $\text{Pb}^{2+}$  1.75 Å sedangkan  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki ukuran kation 1.28 Å.

**Kata Kunci**—Abu layang; Amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$ ; Geopolimer; *Leaching*; Kuat tekan

## I. PENDAHULUAN

Bahan berbahaya dan beracun merupakan bahan yang mencemarkan atau merusak lingkungan hidup dan terkadang membahayakan kelangsungan makhluk hidup (PP No. 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun). Bahan berbahaya dan beracun terdiri dari bahan kimia organik maupun anorganik, yang terklasifikasi menjadi beberapa macam dan beberapa dari bahan berbahaya dan beracun bersifat korosif, karsinogenik, mudah terbakar dan sebagainya. Bahan berbahaya dan beracun yang terdapat dalam limbah-limbah industri disebut dengan limbah bahan berbahaya dan beracun. Limbah yang dihasilkan berasal dari proses produksi industri.

Limbah harus ditangani dengan baik agar tidak merusak maupun mencemarkan lingkungan. Limbah yang dihasilkan dari industri dapat berupa bahan organik maupun bahan anorganik. Limbah organik berupa limbah yang dapat membusuk sedangkan limbah anorganik tidak dapat membusuk dan tidak bisa didegradasi. Limbah anorganik berasal dari industri yang menggunakan bahan dasarnya mengandung unsur-unsur logam berat, seperti Cu, Pb, Co, Zn, Hg, dan lainnya [1]. Salah satu penanganan limbah yang

digunakan dengan metode adsorpsi dengan tanah liat tetapi metode tersebut terbatas pada penggunaannya dan biaya yang mahal [2].

Cara menangani limbah terdiri dari beberapa macam, dimana salah satunya adalah dengan solidifikasi. Solidifikasi adalah proses pengolahan limbah B3 dengan memperkecil/membatasi daya larut, pergerakan/penyebaran dan daya racun sebelum limbah tersebut dibuang ke tempat penimbunan akhir (*landfill*) (Kep-03/BAPEDAL/09/1995). Proses solidifikasi dilakukan dengan metode sementasi, yaitu mencampurkan limbah ke dalam proses pembuatan semen sehingga menghasilkan massa yang padat dan keras. Tetapi dalam proses pembuatan semen juga menghasilkan limbah, yang berdampak terhadap lingkungan sekitar. Dampak industri semen terhadap lingkungan sekitar, antara lain penurunan kualitas tanah sehingga menyebabkan penurunan penyerapan air tanah, kualitas air menurun, terjadi pendangkalan sungai, adanya debu yang dihasilkan dari proses pengangkutan bahan baku, proses pembakaran hingga proses pengemasan, dan adanya gas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar minyak bumi dan batu bara, berupa gas CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan gas lainnya yang mengandung hidrokarbon dan belerang.

Karena proses sementasi menghasilkan gas buang yang berdampak terhadap lingkungan sehingga metode tersebut tidak dapat digunakan dalam proses pengelolaan limbah. Proses solidifikasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan bahan baku abu layang (*fly ash*). Proses penambahan abu layang dapat mengamobilisasi limbah logam berat, seperti Cu dan Pb. Penambahan abu layang tersebut dapat meningkatkan kekuatan ikatan pada limbah. Proses amobilisasi secara efektif dapat terjadi walaupun ukuran pH dalam proses penambahan bersifat asam atau basa.

Penelitian yang dilakukan oleh Marinkovic dkk. (2003), solidifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan abu layang-*gypsum-lime-water* dan abu layang kelas F *gypsum* dapat digunakan sebagai proses solidifikasi. Sistem ini meningkatkan kekuatan kompresi (0.34 MPa). Selain itu, abu layang dapat digunakan pada solidifikasi dengan geopolimerisasi. Penelitian solidifikasi dengan menggunakan abu layang dengan teknik geopolimerisasi telah dilakukan Galiano dkk. (2011) pada limbah yang mengandung logam berat, yaitu Pb, Cd, Cr, Zn dan Ba dengan kuat tekan yang dihasilkan 0,34 MPa sehingga amobilisasi logam berat dapat digunakan secara efektif. Penelitian juga dilakukan oleh Anastasiadou dkk. (2012) yang

menggunakan abu layang kemudian dilakukan sementasi, yang diolah mengandung logam berat Cr, Fe, Ni, Cu, Cd dan Ba. Namun dalam penelitiannya, proses solidifikasi ini masih menggunakan semen sebagai bahan baku yang juga dicampurkan dalam abu layang serta bahan-bahan yang lain dan hanya diketahui kuat tekannya.

Pada penelitian ini dilakukan amobilisasi kation logam berat, yaitu  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dengan teknik geopolimerisasi yang berbahan baku abu layang untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik geopolimer dan ketahanannya dalam lingkungan asam.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Preparasi Abu Layang

Abu layang (*fly ash*) diayak menggunakan *sieve shakers* berukuran 120 mesh dan dikeringkan dengan menggunakan oven bersuhu 105 °C selama 24 jam. Abu layang dikarakterisasi dengan spektroskopi sinar-X. (Chiou, 2009).

### B. Pembuatan Larutan Pengaktif

Larutan pengaktif dibuat dengan melarutkan 28 gram pelet NaOH dalam 60 gram aquademineralisasi dan didiamkan selama 24 jam hingga larut sempurna. Penambahan 80 gram  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (*waterglass*) dilakukan pada larutan NaOH dan diaduk hingga larut sempurna.

### C. Amobilisasi Kation $\text{Cu}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ pada Geopolimer

Kation logam berat  $\text{Cu}^{2+}$  dalam bentuk  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dalam bentuk  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  digunakan untuk amobilisasi  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  pada pembuatan geopolimer. Padatan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  yang digunakan dilarutkan sesuai dengan komposisi pada Tabel 1 dan Tabel 2 masing-masing ke dalam 10 gram aqua DM.

Komposisi bahan lain yang digunakan yaitu abu layang 260 g, *waterglass* 80 g, NaOH 28 g, aqua DM untuk melarutkan NaOH 60 g, serbuk  $\text{Al}(\text{OH})_3$  3,4 g, dan aqua DM untuk melarutkan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  10 g. Proses sintesis geopolimer untuk amobilisasi ion  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dilakukan penambahan larutan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dalam 10 detik setelah larutan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dicampurkan ke dalam campuran abu layang dan larutan pengaktif. Lama waktu pengadukan disesuaikan dengan fasa geopolimer yang terbentuk setelah penambahan logam berat.

### D. Leaching

Sampel geopolimer berumur tujuh hari yang telah mengalami *curing* di-*leaching* dalam 1 L larutan asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 0,1 M. Proses *leaching* dilakukan dan *leachant* diambil 10 mL pada jam tertentu, yaitu 1, 2, 4, 8, 16 dan 32 jam pada masing-masing sampel. *Leachant* dianalisis dengan ICP-OES.

Tabel 1 Komposisi ion  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  pada Pembuatan Geopolimer

| Kadar $\text{Cu}^{2+}$ dalam abu layang (ppm) | Massa $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (g) |
|---|--|
| 1000  | 0.9892   |
| 2000  | 1.9785   |
| 4000  | 3.9569   |
| 8000  | 7.9138   |
| 16000   | 15.8277  |

Tabel 2 Komposisi ion  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  pada pembuatan geopolimer

| Kadar $\text{Pb}^{2+}$ dalam abu layang (ppm) | Massa $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (g) |
|---|--------------------------------------|
| 1000  | 0.4160                               |
| 2000  | 0.8320                               |
| 4000  | 1.6641                               |
| 8000  | 3.3281                               |
| 16000   | 6.6562                               |

### E. Karakterisasi

#### Karakterisasi Kandungan Mineral

Kandungan mineral dalam abu layang dan produk sintesis geopolimer dianalisis menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD). Sampel pecahan produk geopolimer hasil karakterisasi mekanik uji kuat tekan ditembak sinar X dengan panjang gelombang pendek untuk mengetahui data kualitatif mineral. Analisis XRD dilakukan dengan sumber radiasi Cu K ( $\lambda = 1,541\text{\AA}$ ) dan sudut  $2\theta = 0^\circ - 60^\circ$ .

#### Karakterisasi Sifat Mekanik

Geopolimer diuji kuat tekan menggunakan mesin hidrolisis yang ada pada Jurusan D3 Teknik Sipil ITS. Geopolimer berbentuk silindris minimal 7 sampel untuk tiap varian. Geopolimer harus sudah berumur minimal 7 hari.

#### Karakterisasi Mikrostruktur

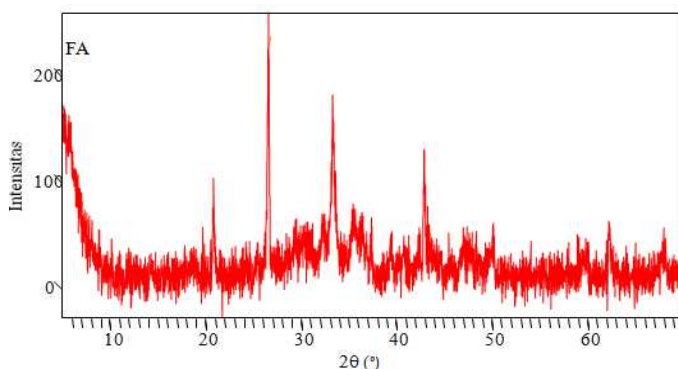
Sampel geopolimer telah berumur 7 hari dikarakterisasi mikrostrukturnya, dengan memotong menjadi silindris berukuran 0,5 cm. Kemudian dibandingkan dengan hasil karakterisasi mikrostruktur geopolimer setelah diamobilisasi dengan *leaching*. Sebelum dikarakterisasi dengan mikroskopi *scanning* elektron (SEM), masing-masing sampel geopolimer yang telah disintesis dengan abu layang dipotong menjadi 0,5 cm. Sampel geopolimer diperhalus sisi sampel geopolimernya dengan kertas amplas berukuran dari yang paling kasar hingga paling halus. Sampel dioven terlebih dahulu pada suhu 110 °C dan dimasukkan ke dalam plastik klep. Sampel divakum dan di-*coating* kemudian sampel diuji mikrostrukturnya dengan mikroskopi *scanning* elektron (SEM).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Preparasi Abu Layang PT. IPMOMI

Abu layang PT. IPMOMI yang mengandung aluminosilikat, merupakan bahan pada pembuatan geopolimer. Abu layang berupa serbuk halus berwarna coklat muda, berasal dari limbah pembakaran batubara PT. IPMOMI yang terbawa dengan gas buang. Kandungan yang terdapat dalam abu layang PT. IPMOMI adalah  $\text{SiO}_2$  (51%) dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14%). Menurut ASTM C-618, abu layang PT. IPMOMI tergolong abu layang kelas C karena memiliki kandungan  $\text{CaO}$  lebih dari 10%.

Abu layang PT. IPMOMI dikarakterisasi dengan XRD (Gambar 1) untuk mengetahui kristalinitas sehingga menghasilkan difraktogram dari abu layang, yang menunjukkan puncak-puncak tajam. Puncak tajam yang dihasilkan pada  $2\theta$  sekitar  $26,61^\circ$ , merupakan puncak kuarsa (*quartz*), yang berasal dari pembakaran batubara (Williams dan Riessen, 2010). Ukuran partikel dan luas permukaan mempengaruhi laju dan spesi yang terlarut dalam geopolimer (Duxson dkk., 2005). Abu layang yang akan disintesis menjadi geopolimer, diayak terlebih dahulu dengan ayakan 120 mesh agar partikel abu layang menjadi homogen sehingga meminimalisir perbedaan ukuran partikel pada sintesis geopolimer. Abu layang dikeringkan pada suhu  $105^\circ\text{C}$  agar kandungan uap air dalam abu layang dapat diabaikan sehingga tidak diperhitungkan kadar uap air yang terdapat dalam geopolimer



Gambar 1 Difraktogram Sinar-X Abu Layang PT IPMOMI

#### B. Pembuatan Geopolimer

Dalam pembuatan geopolimer dibutuhkan larutan pengaktif, yang dibuat dari pellet NaOH dalam aqua DM dan *water glass*. Larutan NaOH yang dibuat dari pellet NaOH dilarutkan dalam aqua demineralisasi, didiamkan selama 24 jam dalam keadaan wadah tertutup agar NaOH bereaksi dalam keadaan suhu ruang dan berada dalam keadaan sistem tertutup karena NaOH bersifat higroskopis sehingga jika larutan NaOH dalam keadaan tertutup maka massa larutan NaOHnya tidak hilang. Larutan NaOH bertujuan sebagai katalisator dalam pembuatan geopolimer.

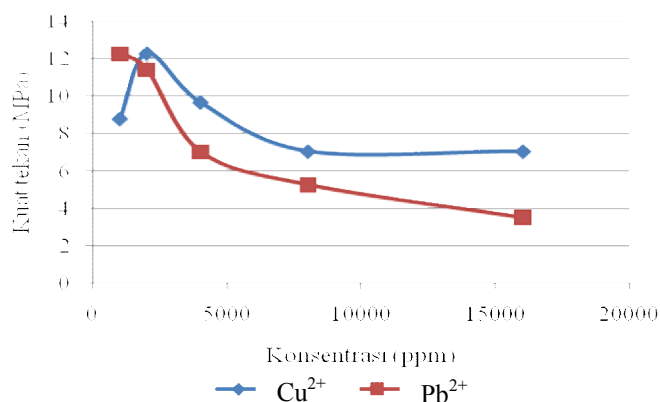
Setelah didiamkan 24 jam, *water glass* dimasukkan ke dalam larutan NaOH dan diaduk hingga larut. Larutan

pengaktif bertujuan untuk mempercepat waktu *setting* (pengerasan) reaksi geopolimerisasi yang terjadi, yang disebabkan adanya ikatan silang oleh spesies Si. Karena jika NaOH sebagai aktivator, tidak terjadi proses pengerasan maka reaksi yang terjadi didominasi oleh pelarutan ion-ion  $\text{Si}^{4+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  dalam abu layang. Setelah itu,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang berupa serbuk padatan halus berwarna putih dilarutkan dalam aqua demineralisasi menjadi larutan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , yang berfungsi untuk menambahkan jumlah ion  $\text{Al}^{3+}$  dalam abu layang pada pembuatan geopolimer (Xu dan van Deventer, 2000). Dalam suasana basa kuat, Al berada dalam bentuk  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ .

Larutan pengaktif diaduk bersamaan dengan 260 g abu layang dengan mixer hingga homogen, kemudian ditambahkan dengan larutan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Setelah diaduk hingga homogen, pasta geopolimer dicetak ke dalam cetakan dengan perbandingan antara diameter dengan tinggi silindris (1:2) (ASTM C-618), seperti pada Gambar 4.2. Setelah dicetak, didiamkan selama 24 jam hingga geopolimer mengering. Kemudian, geopolimer tersebut di-*curing* dalam plastik klep/tertutup pada suhu  $60^\circ\text{C}$  karena jika geopolimer dikeringkan dengan keadaan terbuka maka geopolimer tersebut akan mengalami keretakan/mudah rapuh.

#### C. Amobilisasi Kation $\text{Cu}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$

Amobilisasi kation logam  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dilakukan untuk mengetahui ketahanan kation  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dalam geopolimer, dimana penambahan kation logam berat dilakukan sesuai dengan komposisi perhitungan pada masing-masing senyawa. Kation logam yang ditambahkan dibagi menjadi lima variasi konsentrasi, yaitu 1000, 2000, 4000, 8000, dan 16000 ppm. Gambar 2 menunjukkan hasil kuat tekan penambahan kedua kation logam pada geopolimer. Setelah penambahan kation  $\text{Cu}^{2+}$ , kuat tekan meningkat, yang kemudian mengalami penurunan dari konsentrasi 4000 hingga 16000 ppm sedangkan pada penambahan kation  $\text{Pb}^{2+}$  kuat tekan terbaik adalah pada konsentrasi 1000 ppm setelah itu kuat tekan menunjukkan penurunan.



Gambar 2 Hasil Kuat Tekan Penambahan Kation Logam  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  pada Geopolimer

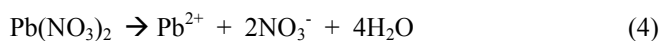
Van Jaarsveld dan Van Deventer (1999) menyatakan bahwa amobilisasi ion logam dalam geopolimer dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu valensi ion logam dan ukurannya. Logam dengan ukuran yang lebih besar memiliki

kecenderungan diamobilisasi dengan baik dalam geopolimer sehingga lebih sulit untuk dilepaskan dari geopolimer (memiliki *leaching rate* rendah). Ion logam terikat dalam struktur geopolimer meskipun ikatan ini tidak mengakibatkan perubahan pada struktur dasar tetrahedral dari Si dan Al yang merupakan bagian terbesar dalam susunan geopolimer. Keberadaan logam berat dalam geopolimer dapat mempengaruhi sifat-sifat kimia dan fisika dari geopolimer, sedangkan konsentrasi dari alkali sebagai aktifator dalam pembuatan geopolimer dapat mempengaruhi sifat-sifat amobilisasi logam dalam sistem geopolimer (Xu dkk., 2006).

Penambahan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  pada geopolimer mengakibatkan terbentuknya  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  yang ditunjukkan pada persamaan 4.1 dan larutan  $\text{NaOH}$  terionisasi menjadi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$ , dimana kedua ion tersebut bereaksi dengan kation logam dalam senyawa  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .



sedangkan penambahan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  mengakibatkan terbentuknya  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  (Persamaan 4.4).



Proses amobilisasi dapat terjadi melalui kombinasi dua hal, yakni dengan terjadinya ikatan kimia antara logam-logam tersebut dengan matriks geopolimer dan mengenkapsulasi secara fisik kedua logam tersebut, juga dalam matriks geopolimer sehingga logam berat yang diserap dalam pembuatan geopolimer ini dapat memberikan efek yang besar terhadap sifat fisika dan kimia pada geopolimer yang dihasilkan (Van Jaarsveld dkk., 1999).

#### D. Leaching

Sampel geopolimer di-*leaching* dalam larutan asam asetat untuk mengetahui pengaruh dari amobilisasi kation logam pada lima varian konsentrasi geopolimer. Tabel 3 dan 4 menunjukkan hasil *leaching* dari amobilisasi kation logam  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dengan masing-masing waktu pengambilan yang telah ditentukan, yaitu 1, 2, 4, 8, 16, dan 32 jam untuk mengetahui kestabilan kation logam yang ter-*leaching* dalam larutan tersebut. Untuk amobilisasi kation  $\text{Pb}^{2+}$ , geopolimer dengan konsentrasi 1000 ppm memiliki hasil uji kuat tekan terbaik, sedangkan geopolimer dengan konsentrasi 2000 ppm untuk amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki hasil uji kuat tekan terbaik.

Hasil *leaching* geopolimer yang diamobilisasi dengan kation  $\text{Pb}^{2+}$  menunjukkan hasil konsentrasi yang terdeteksi adalah negatif (Tabel 4.1), dengan *Limit of Detection* (LOD) 0.630 ppm. Sedangkan gambar 4.7 menunjukkan hasil *leaching* geopolimer yang diamobilisasi dengan kation  $\text{Cu}^{2+}$ , dengan

konsentrasi yang tidak dapat terdeteksi (Tabel 4.2), dengan *Limit of Quantitative* (LOQ) 0.414 ppm. *Limit of Detection* (LOD) adalah limit terendah yang dapat diamati dan *Limit of Quantitative* (LOQ) adalah limit yang diperhitungkan dalam instrumen ICP-OES. Jika angka yang dihasilkan pada alat ini berada di atas LOQ maka konsentrasi yang terdeteksi dapat diperhitungkan. Jika angka yang dihasilkan berada dalam area LOQ hingga LOD maka kadar konsentrasi logam yang terdeteksi menunjukkan hasil yang minimal sehingga hasil tidak terkuantifikasi. Sedangkan angka yang dihasilkan berada di bawah LOD maka konsentrasi logam tersebut tidak dapat terdeteksi.

Tabel 3 Hasil *leaching* amobilisasi kation  $\text{Pb}^{2+}$  (1000 ppm)

| Waktu pengambilan | Konsentrasi yang terdeteksi |
|-------------------|-----------------------------|
| 1 jam             | Negatif                     |
| 2 jam             | Negatif                     |
| 4 jam             | Negatif                     |
| 8 jam             | Negatif                     |
| 16 jam            | Negatif                     |
| 32 jam            | Negatif                     |

Tabel 4 Hasil *leaching* amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  (2000 ppm)

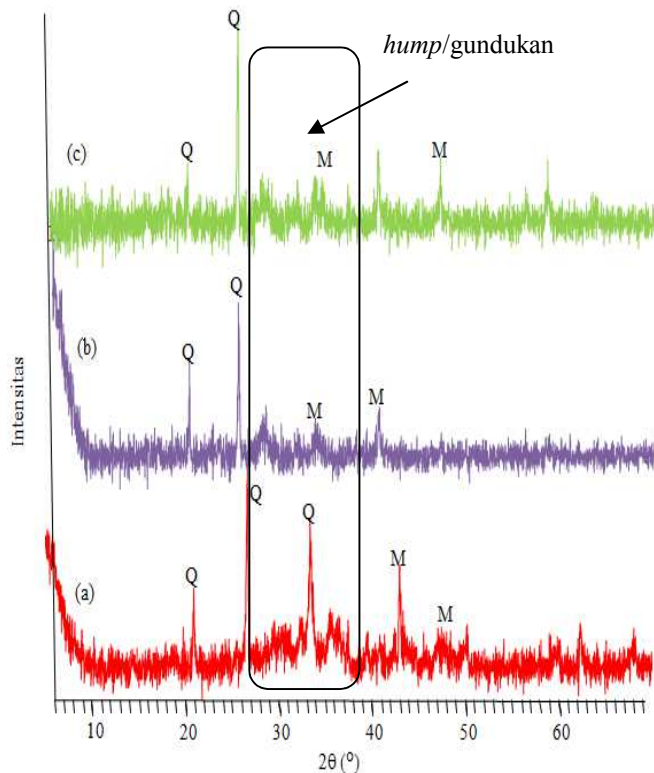
| Waktu pengambilan | Konsentrasi yang terdeteksi |
|-------------------|-----------------------------|
| 1 jam             | Tidak terdeteksi            |
| 2 jam             | Tidak terdeteksi            |
| 4 jam             | Tidak terdeteksi            |
| 8 jam             | Tidak terdeteksi            |
| 16 jam            | Tidak terdeteksi            |
| 32 jam            | Tidak terdeteksi            |

Hasil *leaching* untuk kation  $\text{Pb}^{2+}$  menghasilkan amobilisasi yang baik, dimana konsentrasi yang terdeteksi negatif (Tabel 4). Hal tersebut menunjukkan kation  $\text{Pb}^{2+}$  terenkapsulasi dalam geopolimer dan secara fisik, leachant amobilisasi kation  $\text{Pb}^{2+}$  masih dalam keadaan bening tidak berwarna. Sedangkan hasil *leaching* untuk kation  $\text{Cu}^{2+}$  belum dapat diketahui hasil amobilisasinya dengan baik karena konsentrasi yang dihasilkan tidak terdeteksi karena konsentrasi yang terdeteksi sangat kecil, tetapi secara fisik, leachant amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  agak keruh. Berdasarkan hasil kedua kation tersebut menunjukkan bahwa kation  $\text{Pb}^{2+}$  teramobilisasi lebih baik daripada amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  karena  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  mempunyai valensi yang sama tetapi berdasarkan ukuran kation logamnya,  $\text{Pb}^{2+}$  memiliki ukuran kation 1.75 Å sedangkan  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki ukuran kation 1.28 Å.

#### E. Karakterisasi Difraksi Sinar-X

Geopolimer yang telah diamobilisasi kation logam, dikarakterisasi dengan menggunakan difraksi sinar-X, untuk mengetahui fasa kristal dan amorf dari kedua geopolimer tersebut jika dibandingkan dengan abu layangnya. Gambar 4.4 (b) menunjukkan difraktogram amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  dalam konsentrasi 1000 ppm lebih baik dibandingkan  $\text{Pb}^{2+}$  dengan konsentrasi 2000 ppm (Gambar 4.4c). Dari hasil tersebut menunjukkan difraktogram kation logam  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki difraktogram yang sama dengan abu layang, yaitu adanya

puncak fasa kuarsa (Q) pada  $2\theta = 26,68^\circ$  pada kation  $\text{Cu}^{2+}$ , yang titik puncaknya berdekatan dengan puncak fasa kuarsa abu layang pada  $2\theta = 26,61^\circ$ .



Gambar 3 Difraktogram Sinar X (a) abu layang, (b) kation  $\text{Cu}^{2+}$  2000 ppm, (c) kation  $\text{Pb}^{2+}$  1000 ppm

Difraktogram sinar-X abu layang tidak menunjukkan adanya fasa amorf (Gambar 3) setelah diamobilisasi dengan kation logam, difraktogram sinar-X kedua kation menunjukkan fasa amorf, yang ditunjukkan adanya *hump*/gundukan pada  $2\theta = 26 - 35^\circ$ . Tetapi fasa kristal (Q) masih terdapat dalam kedua difraktogram sinar X. Hal tersebut dapat dikarenakan belum adanya homogenisasi antara abu layang, dimana terdapat fasa kristal (Q) setelah diamobilisasi dengan kation  $\text{Cu}^{2+}$  2000 ppm dan kation  $\text{Pb}^{2+}$  1000 ppm.

#### F. Karakterisasi Mikroskopi Scanning Elektron (SEM)

Mikrostruktur produk sintesis geopolimer abu layang dianalisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Elektron sebagai cahaya pada SEM, berfungsi untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Morfologi struktur tiga dimensi geopolimer dan morfologi kristal mikronya dapat ditunjukkan menggunakan analisis SEM. Geopolimer yang mengalami penambahan logam  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dapat dianalisis dengan melihat sebaran logam berat yang terjadi pada seluruh geopolimer. Sampel yang digunakan untuk analisis mikrostruktur menggunakan SEM-EDX diambil dari geopolimer yang utuh selanjutnya dipotong melintang (*cross section*). Pada penampang melintang dihaluskan dengan menggunakan kertas amplas dan dioven selama 1 jam pada suhu  $110^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan uap air yang masih terdapat dalam geopolimer agar dapat divakum. Pada permukaan yang

telah halus dilakukan pelapisan (*coating*) emas dalam kondisi vakum. Setelah proses *coating* dilakukan karakterisasi mikrostruktur dan dilihat sebaran logamnya dengan EDX.

Hasil spektra unsur geopolimer akan terdeteksi adanya unsur emas meskipun dari prekursor tidak ada dan tidak ditambahkan pada saat sintesis, unsur emas ini berasal dari bahan *coating* pada saat dilakukan proses pelapisan (*coating*). Kesulitan pada analisis SEM-EDX karena sampel berukuran besar dan higroskopis sehingga sulit untuk divakum pada saat *coating* dan saat karakterisasi.

Tabel 4 Hasil karakterisasi SEM geopolimer yang telah diamobilisasi dengan kation

| Kati-on                     | Sebelum <i>Leaching</i> | Sesudah <i>Leaching</i> |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $\text{Cu}^{2+}$ (2000 ppm) |                         |                         |
|                             | (pinggir)               | (pinggir)               |
|                             |                         |                         |
|                             | (tengah)                | (tengah)                |
| $\text{Pb}^{2+}$ (1000 ppm) |                         |                         |
|                             | (pinggir)               | (pinggir)               |
|                             |                         |                         |
|                             | (tengah)                | (tengah)                |

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan hasil karakterisasi mikroskopi scanning elektron (SEM-EDX) geopolimer yang diamobilisasi kation  $\text{Pb}^{2+}$  belum terdeteksi sedangkan pada geopolimer yang diamobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  terdeteksi pada prosentase berat yang kecil, yaitu 0.489. Geopolimer amobilisasi kation  $\text{Cu}^{2+}$  (2000 ppm) dan  $\text{Pb}^{2+}$  masih terdapat gumpalan silika yang belum bereaksi dan belum ada homogenisasi dalam pembuatan geopolimer.

## IV. KESIMPULAN

Geopolimer telah berhasil dibuat dengan bahan baku abu layang (*fly ash*) PT. IPMOMI. Berdasarkan hasil uji kuat tekan (*compressive strength*), geopolimer dengan amobilisasi kation  $Pb^{2+}$  konsentrasi 1000 ppm menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 12,28 MPa, lebih baik daripada geopolimer dengan amobilisasi kation  $Cu^{2+}$  konsentrasi 2000 ppm adalah 12,28 MPa. Fasa kristal (quartz) pada abu layang berkurang setelah menjadi geopolimer yang diamobilisasi dengan kation logam  $Cu^{2+}$  dan  $Pb^{2+}$ . Morfologi SEM-EDX menunjukkan adanya gumpalan silika pada kedua amobilisasi kation yang belum terpolimerisasi. Hasil uji *leaching* menunjukkan bahwa amobilisasi kation  $Pb^{2+}$  maupun kation  $Cu^{2+}$ , yang ditunjukkan dengan hasil *leaching* amobilisasi kation  $Pb^{2+}$  negatif karena ukuran ion  $Pb^{2+}$  lebih besar daripada ukuran ion  $Cu^{2+}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wisnu, A. W. 1994. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [2] Soeprijanto. 2005. *Pengolahan Limbah Padat Organik Menggunakan Slurry Bio Reaktor*. Surabaya: Jurusan Teknik Kimia, FTI, ITS.
- [3] Fatimah, S. S. 2002. *Kimia Industri – Produksi Semen*. Bandung : Pendidikan Kimia – Universitas Pendidikan Indonesia.
- [4] Galliano, L.Y., Pereira, F. C., Rodriguez-Pinero, M.A., Parapar, V.J. 2008. "Long and short term performance of a stabilized/solidified Electric arc Furnace dust", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 148, hal. 701-707.
- [5] ASTM C 618. 1994. *Standard Specification for Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete* - Vol. 04.02. Pennsylvania: American Society for Testing Materials, annual book of ASTM standards, west Conshohocken
- [6] Xu dan Van Deventer. 1999. *The Geopolymerization of Alumino-silicate Minerals*. Victoria: Department of Chemical Engineering, The University of Melbourne.
- [7] Andrew J. Deeks, Hong Hao. 2005. *Development in Mechanics of Structure and Materials*. London: Taylor and Francis Group.
- [8] Davidovits, J. 1994. *Geopolymers: Man-made Rock Geosynthesis and The Resulting Development of Very Early High Strength Cement*, *Journals of Materials and Cement*, Vol. 16, hal. 91-139
- [9] Davidovits, J. 2005. *Green Geopolymer*. Saint Quentin: Institut Geopolymer.
- [10] Dean, W. M. 1974. *Instrumental Methods of Analysis* Fifth Edition. USA: Litton Educational Publishing Inc.
- [11] Leofanti, G., Zecchina. 1997. *Alumina-Supported Copper Chloride : 2 Effect of Aging and Thermal Treatments*. hal. 307–327.
- [12] Reimer, L. 1998. *Scanning Electron Microscopy*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [13] Richardson. 1989. *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- [14] Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*, Yogyakarta: KMTS FT UGM
- [15] Van Jaarsveld J, G, S. Deventer J. S. J. V. dan Lorenzen L. 1998. *Factors affecting the immobilisation of metals in geopolymerised fly ash*". *Metallurgical and Materials Transactions B-Process Metallurgy and Materials Processing Science*, Vol 29, hal. 283–291.
- [16] Williams R. P. dan Riessen A. van. 2010. *Determination of the reactive component fly ashes for geopolymer production using XRF and XRD*, *Fuel*, Vol. 89, hal. 3683–3692.
- [17] Zheng, L., Wang, W. dan Shi, Y., 2010. The effects of alkaline dosage and Si/Al ratio on the immobilization of heavy metals in municipal solid waste incineration fly ash-based geopolymer", *Chemosphere*, Februari 2010, hal. 1-7.